Elektronica en Telecommunicatie 11

Gemeenschappelijke publikatie van de
Sectie voor Telecommunicatietechniek van het K.I.v.I. en het
Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap.
Redactie-adres: Prinsessegracht 23, Den Haag.

621.391.823

Spectrumvervuiling

door A. de Jong, Dr. Neher-Laboratorium PTT, Leidschendam



Synopsis: *Pollution of the Radio Frequency Spectrum.*
Electromagnetic coupling is considered as the reason why harmful electromagnetic interference can be caused. Narrow-band and wide-band sources of interference are discussed from the point of view of being the origin of 'pollution' of the electromagnetic spectrum in its radio frequency uses.

Measures are indicated that could lead to the institution of regulations by law securing the preservation of the use of parts of the radio frequency spectrum for broadcast and radiocommunication purposes.

1. Inleiding

Gedurende de laatste jaren kunnen wij een groeiend besef waarnemen van de verslechtering van ons leefmilieu, verontreinigd als dit wordt door allerlei afvalprodukten en bijverschijnselen van onze geïndustrialiseerde samenleving. Telkens weer wordt de alarmklok geluid over de vervuiling van bodem, lucht en water en voor andere vormen van hinder, zoals de toenemende geluidshinder. Deze soorten van milieuverontreiniging worden rechtstreeks door onze zintuigen geregistreerd en spreken daarom iedereen aan.

Het onderwerp van deze voordracht betreft echter een andere vorm van 'verontreiniging', die niet rechtstreeks door de zintuigen waarneembaar is: de aanwezigheid van ongewenste storingsprodukten in het frequentiespectrum, welke als bijprodukten van elektrische en elektronische processen ontstaan. Hiervoor wordt soms de minder wetenschappelijke naam 'ethervervuiling' gebruikt.

Het toenemend gebruik van elektrische energie voor het verrichten van arbeid en voor verwarmingsdoeleinden (sterkstroom), en bovenal de enorme vlucht die de elektronica voor besturingsprocessen en communicatiedoeleinden heeft genomen, kunnen oorzaak zijn van ongewenste bijverschijnselen.

Daar elke ladingsverplaatsing wordt vergezeld door elektrische en magnetische velden, is het duidelijk dat hierdoor beïnvloeding van elektrische systemen in de nabije omgeving kan ontstaan.

Naast een intensivering van het gebruik van het spectrum in de laatste decennia is ook de breedte van het spectrum, dat in de toepassingen is betrokken, aanzienlijk toegenomen. Dit blijkt uit tabel 1, waarin de situatie in 1970 en 1940 is weergegeven.

Tabel 1. De delen van het frequentiespectrum, waarbinnen toepassingen op het gebied van de sterkstroom, de zwakstroom en de radio hun toepassing vinden.

Jaar	Sterkstroom	Zwakstroom en Elektronica	Radio
1940	$< 10^2$ Hz	$10^2 \dots 10^5$ Hz	$10^5 \dots 10^8$ Hz
1970	$< 10^2$ Hz	$10^2 \dots 10^7$ Hz (experimenteel 10^8 à 10^9 Hz)	$10^5 \dots 10^{10}$ Hz (experimenteel 10^{11} à 10^{12} Hz)

Voordrachten, gehouden voor de Sectie voor Telecommunicatietechniek van het K.I.v.I. op 22 april 1971 te Utrecht. Voor de aankondiging zie 'De Ingenieur' 1971, nr. 15, blz. A 265.

a. *Het sterkstroomgebied.* De energie wordt voornamelijk als wisselstroom – of draaistroomenergie – van 50 of 60 Hz langs geleiders getransporteerd. De elektrische en magnetische velden zijn daarbij sterk aan de geleiders gebonden, zodat de onderlinge beïnvloeding tussen sterkstroomsystemen gering is. Moeilijkheden komen soms voor in gevallen waarbij systemen voor zeer grote vermogens dicht bij systemen voor zeer kleine vermogens (meetcircuits) zijn gesitueerd. De beïnvloeding op communicatiesystemen (telefoon, muziek) is in het algemeen niet groot, daar het oor voor netfrequenties weinig gevoelig is. Hoewel tussen 1940 en 1970 de frequentiebelegging niet is gewijzigd, is de hoeveelheid gebruikte energie met een factor 13 toegenomen.

b. *Het deel van het spectrum dat vroeger bekend stond onder de naam zwakstroomgebied.* Dit omvatte in 1940 frequenties tussen 10^2 en 10^5 Hz. Behalve voor enkele signaleringstoepassingen werd het vnl. in beslag genomen voor toepassingen van telecommunicatie langs geleiders (telefonie en telegrafie), al dan niet op een draaggolf gemoduleerd. Na 1940 is het hiervoor benodigde frequentiegebied met tenminste 2 decaden uitgebreid. Over korte afstanden zijn bij het transport zelfs frequenties tot enkele honderden MHz gemoeid. De overdracht van beeldinformatie en het gebruik van moderne digitale technieken zijn hiervan de oorzaak.

In de gevallen a. en b. is sprake van het transport van elektrische energie langs geleiders. Hoewel de overdracht plaatsvindt door middel van elektromagnetische velden in de ruimte tussen de geleiders, neemt bij toenemende frequentie de kans op uitstraling in de omringende ruimte toe. Voor het transport van frequenties boven ca. 1 MHz wordt daarom overwegend gebruik gemaakt van coaxiale geleiders, die een zeer geringe koppeling met de omgeving verzekeren.

c. *Bij de derde categorie, die der radiocommunicatie, maakt men gebruik van elektromagnetische velden in de ruimte.* Het bruikbare radiospectrum, dat zich in 1940 over nauwelijks 3 decaden uitstrekte, is in latere jaren met tenminste 2 decaden uitgebreid, terwijl druk wordt geëxperimenteerd in de aansluitende 2 decaden naar boven. Deze uitbreiding naar hogere frequenties heeft 2 belangrijke voordelen: ten eerste is hierdoor de totaal beschikbare bandbreedte enorm toegenomen, ten tweede neemt het richteffect van de antennes met de frequentie toe (straalverbindingen), waardoor binnen eenzelfde geografisch gebied gelijke frequentiekanalen steeds vaker kunnen worden benut. Tegenover de toegenomen beschikbare bandbreedte staat echter het feit dat moderne communicatiesystemen (beeldoverdracht, radar, FM-omroep, digitale transmissie) in vergelijking tot de klassieke radiotransmissie van spraak en muziek grote kanaalbreedten vragen.

Naast de gewenste signalen komen op de elektrische transportwegen ook ongewenste signalen voor. Deze zijn deels van natuurlijke oorsprong (atmosferische en kosmische storingen), deels worden zij kunstmatig opgewekt. Bij de laatste categorie kan men nog onderscheid maken tussen bewust opgewekte signalen, die door een onjuiste spectrumverdeling of het zich niet houden aan de spelregels (radiopiraten) hinder veroorzaken, en stoorsignalen die als bijprodukten ontstaan bij het overigens nuttig gebruiken van elektrische energie of nuttig verwerken van informatie. Juist deze ongewenste bijprodukten veroorzaken een toenemende vervuiling van het frequentiespectrum. Op het karakter van deze vervuiling zal hier nader worden ingegaan.

Uit het bovenstaande blijkt, dat transmissie van energie en informatie langs ruimtelijk gescheiden geleiders de minste kans op onderlinge storing oplevert. Naarmate echter de systemen gecompliceerder, de overgedragen frequenties hoger en de ruimtelijke afstanden kleiner worden nemen de moeilijkheden toe. Dit heeft ertoe geleid dat een grootscheeps onderzoek werd begonnen naar de vraag in hoeverre elektrische systemen naast elkaar kunnen bestaan zonder elkaar nadelig te beïnvloeden. De hiervoor gebruikelijke term '*Electromagnetic Compatibility*' (EMC) is afkomstig uit de Verenigde Staten (ruimtevaartontwikkelingen) en omvat het gehele gebied van onderlinge beïnvloeding tussen elektrische systemen van allerlei soort, waarbij zowel de overdracht via geleiders als die door de ruimte is inbegrepen.

Het is duidelijk dat de meeste problemen zich voordoen in de radiocommunicatie, waarbij gebruik wordt gemaakt van een gemeenschappelijk medium en waarbij de mogelijkheid om aan de uitgezonden signalen een ruimtelijke begrenzing te geven beperkt is, vooral in het frequentiegebied beneden 30 MHz. Dit alles vereist niet alleen een stringente bandindeling, waarvan het effect niet altijd even groot is (congestie middengolven), maar ook maatregelen om te voorkomen dat ongewenste storingen in het radiospectrum terechtkomen. Bij de hier besproken spectrumvervuiling valt de nadruk dan ook hoofdzakelijk op de storing welke in de radiowegen wordt veroorzaakt.

2. De meest voorkomende stoorbronnen

Stoorbronnen kunnen worden onderverdeeld in twee groepen: bronnen die storing in een *smalle* frequentieband veroorzaken, en bronnen met een *breed* stoorspectrum. Smalle-band-stoorders (sinusvormige signalen) werken vaak met grote vermogens en kunnen daardoor aanleiding geven tot hoge stoorniveaus die plaatselijk in het frequentiespectrum ernstige hinder veroorzaken. Brede-band-stoorders daarentegen veroorzaken een breed stoorspectrum dat gelijktijdig vele gebruikers van het spectrum kan hinderen. De energiedichtheid is echter veel geringer dan bij de smalle-band-stoorbronnen.

De bronnen die impulsvormige, quasi-impulsvormige en ruisvormige signalen opwekken behoren alle tot de categorie der brede-band-stoorbronnen.

2.1. *Smalle-band-stoorbronnen*

De voornaamste smalle-band-stoorbronnen zijn:

2.1.1. *Sterkstroomnetten* (50 Hz)

Deze kunnen door middel van magnetische koppeling of door aard- en zwerfstromen stoorsignalen induceren in naburige elektrische systemen, speciaal in gevoelige meetcircuits en in muziekverbindingen ('brom'). Vaak zijn het de harmonischen van de netfrequentie (300 Hz-rimpel bij spoorweggelijkrichters), signaleringsfrequenties op het net en impulsvormige spanningen t.g.v. schakelmanipulaties, die hinder veroorzaken.

2.1.2. *HF-generatoren voor industriële, wetenschappelijke en medische toepassingen*

Hierbij is het meestal om HF-verwarming te doen (lasapparaten voor plastics, houtverlijmingsmachines, magnetronovens, diathermie) waarvoor grote vermogens nodig zijn. De HF-bron is weliswaar niet met een antenne verbonden maar de elektroden veroorzaken toch enige uitstraling. Omdat deze uitstraling veelal moeilijk kan worden onderdrukt is door de ITU een aantal

frequentiebanden (13,56 MHz; 27,12 MHz; 40,68 MHz; 5,8 GHz en 22,125 GHz) speciaal voor dit type 'zenders' aangewezen.

Voor signalen die buiten deze frequentiebanden vallen zijn grenswaarden aan de toelaatbare veldsterkte gesteld. Ter illustratie zij vermeld dat in de TV-banden op 30 m afstand geen hogere stoorveldsterkte dan 30 μV/m mag worden opgewekt. Bij een voor TV-signalen bruikbare veldsterkte van 500 μV/m wordt van een stoorveld met dergelijke intensiteit reeds ontoelaatbare hinder ondervonden. Gelukkig bevinden de meeste installaties zich op fabrieksterreinen en op een redelijke afstand van communicatie- en omroepontvangers. Bekende klachten zijn die betreffende storing veroorzaakt door lasapparaten voor plastics die in de huisindustrie worden gebruikt.

Om een idee te geven van de omvang van deze groep stoorbronnen zij verder vermeld dat in Nederland ca. 200 houtverlijmingsmachines zijn opgesteld, waarvan de meeste HF-vermogens tot 10 kW opwekken en sommige zelfs tot 100 kW. In het algemeen valt het stoorspectrum niet binnen de aangewezen frequentiebanden.

2.1.3. *Oscillatoren in ontvangers*

Elke moderne ontvanger werkt volgens het superheterodynebeginsel en bezit een afstembare oscillator. Een klein deel van de oscillatorenergie komt in de antenne terecht en wordt uitgestraald. Daarnaast werkt het chassis als stralingsbron voor de oscillatorfrequentie, vooral bij grote afmetingen (TV-ontvangers) en bij hoge frequenties.

Het vermogen in de antenne is zeer gering, doch het wordt vrijwel geheel uitgestraald. Volgens internationale normen wordt ca. 1 mV op 75 Ω toelaatbaar geacht. Dit is ruim 0,01 μW.

Met de formule voor straling in de vrije ruimte: $E = 7\frac{\sqrt{P_r}}{d}$

waarin E = veldsterkte in μV/m, P_r = uitgestraald vermogen in pW en d = afstand in m, kan men berekenen dat de veldsterkte op 30 m afstand 25 μV/m bedraagt, d.w.z. nagenoeg evenveel als bij HF-verwarmingsapparaten wordt toegestaan. Voor chassisstraling op 3 m afstand geldt 700 μV/m, hetgeen globaal overeenkomt met 70 μV/m op een afstand van 30 m. Ontvangers zijn dus zeker geen onschuldige storingsbronnen, vooral wanneer men bedenkt dat Nederland 3,1 miljoen geregistreerde TV-ontvangers en 3,7 miljoen geregistreerde radioontvangers telt.

2.2. *Brede-band-stoorbronnen*

Van de belangrijkste brede-band-stoorbronnen worden genoemd:

2.2.1. *Ontstekingsinrichtingen van verbrandingsmotoren*

Zoals bekend ontstaat bij het onderbreken van de primaire bobinegelijkstroom een hoge spanning in de secundaire wikkeling, als gevolg waarvan een vonk tussen de bougie-elektroden kan overslaan. Wegens de zelfinductie van de bobine en de aanwezige capaciteit verloopt de secundaire e.m.k. sinusvormig met een herhalingsfrequentie van ongeveer 2 kHz en een topwaarde tussen 15 en 30 kV. Bij ca. 10 kV slaat de vonk over en de spanning daalt plotseling tot ongeveer 2 kV zodat de bougiespanning een zaagtandvorm bezit met een tijdsduur van 30 μs, een amplitude van bijna 10 kV en een herhalingsfrequentie tussen 50 en 200 Hz, afhankelijk van het toerental (fig. 1).

De spectrumcomponenten van een dergelijke impuls, berekend m.b.v. de Fourieranalyse, blijken constant tot ca. 30 kHz

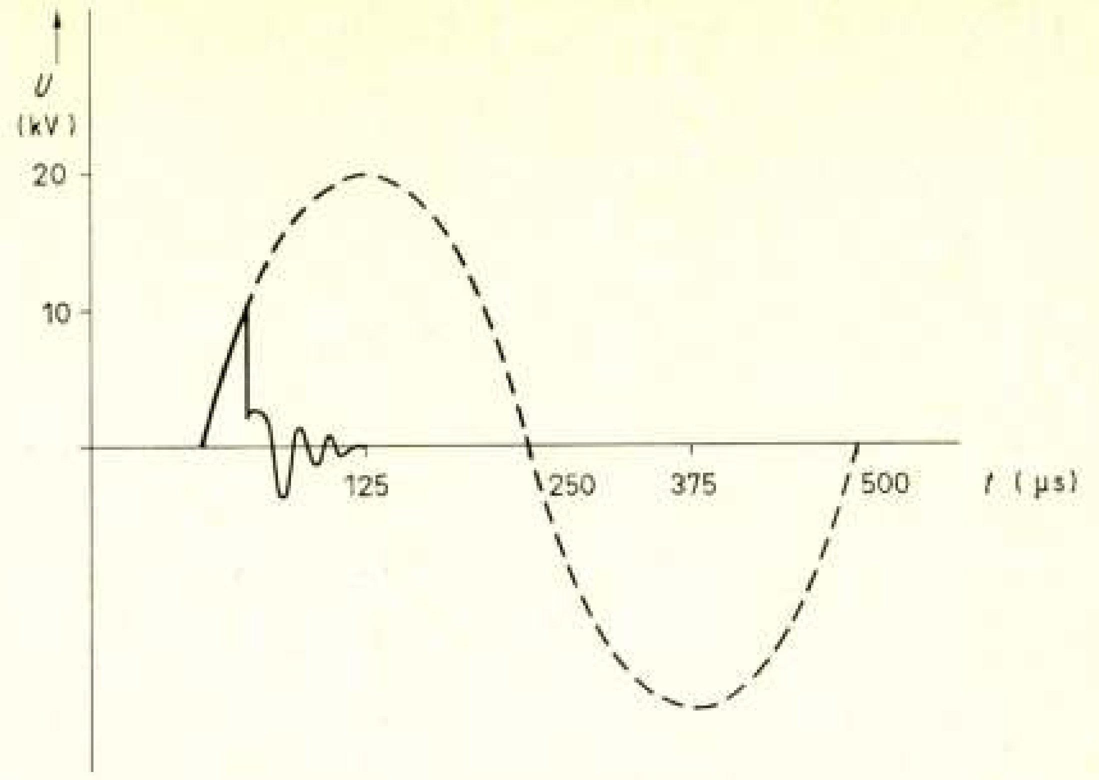


Fig. 1. Spanningsgolfvorm aan de bougie van een ontstekingsinrichting.

en nemen daarna evenredig met de frequentie af, hetgeen in bovenstaand geval waarden oplevert van 100 mV bij 1 MHz, 1 mV bij 100 MHz en 0,1 mV bij 1000 MHz. Daar binnen één radio- of TV-kanaal vele componenten liggen is de resulterende stoor-e.m.k. aanzienlijk hoger en wel in de orde van enige volt. Deze potentiële stoor-e.m.k.'s zijn gekoppeld met de bougiekabels die als antenne fungeren. Hoewel de stoorspanningen bij lage frequenties aanzienlijk groter zijn dan bij hoge frequenties is de stralingsweerstand bij lage frequenties zo gering dat beneden 10 MHz de storingshinder verwaarloosbaar klein is. Alleen zeer dicht bij de bron opgestelde antennes (auto-antenne) zullen in het middengolfgebied last van storing ondervinden. Op grotere afstand wordt slechts hinder ondervonden in het frequentiegebied dat zich globaal tussen 30 en 300 MHz uitstrekt, waar het antenne-effect van de bedrading groot is. Boven 300 MHz is de energie-inhoud zo gering dat er geen klachten voorkomen.

Het geschatte aantal mobiele stoorbronnen in ons land (auto's en bromfietsen) bedraagt ruim 4,5 miljoen en daar deze stoorbronnen juist door hun beweeglijkheid moeilijk gelokaliseerd kunnen worden is het duidelijk dat effectieve ontstoringsmaatregelen gewenst zijn, wat technisch overigens heel goed mogelijk is.

2.2.2. *Impulsverwerkende systemen*

Digitale en soortgelijke systemen zoals computers, processors, afstandsbediening e.d. werken met impulsvormige signalen waarvan bekend is dat zij uit componenten met een harmonisch verband zijn opgebouwd. Zo geldt voor ideale rechthoekige impulsen dat de amplitude van de spectrumcomponenten constant blijft tot de frequentie $0{,}318/\tau$, waarin τ de impulsbreedte voorstelt.

Boven deze kantelfrequentie ontstaan maxima en minima, waarbij de maxima raken aan een lijn die vanaf de kantelfrequentie afneemt met 20 dB/decade of 6 dB/octaaf (fig. 2).

Indien de impulsflanken niet oneindig steil zijn maar monotoon veranderen (trapeziumvorm) ontstaat een tweede kantelfrequentie waarboven de maxima in het spectrum met 40 dB/decade afnemen (fig. 3). Zo zal bijv. een rechthoekige impuls met een duur van 1 μs een spectrum leveren dat vlak is tot 0,318 MHz en daarboven afvalt volgens een 20 dB/decade-lijn. Heeft deze impuls echter een stijg- en valtijd van 10 ns dan blijkt de tweede kantelfrequentie bij 35 MHz te liggen, waarboven het spectrum dubbel snel afvalt. Vergroting van de stijg-

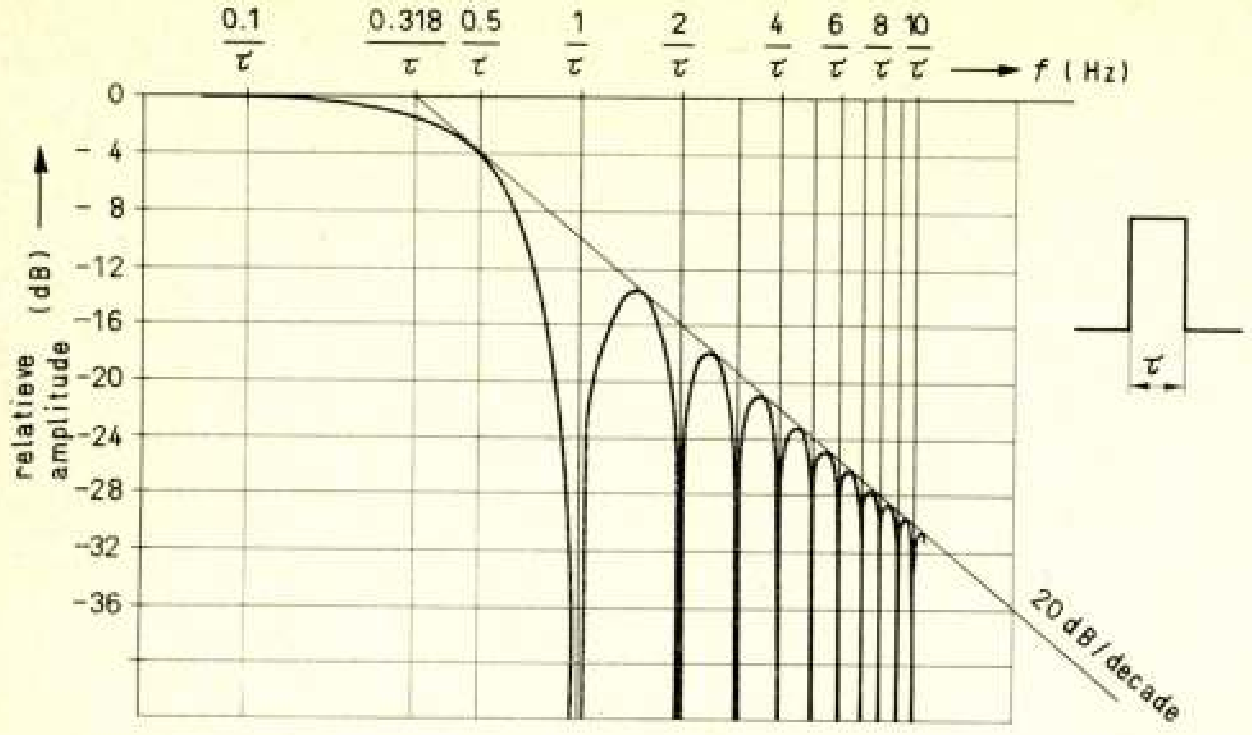


Fig. 2. Omhullende van het frequentiespectrum van rechthoekige impulsen.

tijd tot 100 ns brengt de tweede kantelfrequentie terug tot 3,5 MHz. Uit het oogpunt van ongewenste storing op hoge frequenties is het dus belangrijk de stijgtijd niet korter te maken dan voor de werking van het systeem strikt noodzakelijk is.

Behalve aan storing, die digitale apparaten op andere systemen kunnen veroorzaken, moet aandacht worden geschonken aan de (storings)gevoeligheid van dit soort apparaten voor beinvloeding door andere systemen. Naarmate het functioneren van onze samenleving in toenemende mate gaat afhangen van computers moeten er betere waarborgen komen dat deze computers niet aan ongewenste elektrische beïnvloeding blootstaan. Aan dit punt zal in de toekomst veel zorg moeten worden besteed.

2.2.3. *Schakelaars in sterkstroom-toepassingen*

Voor industriële en huishoudelijke toepassingen zien wij niet alleen een sterk groeiend gebruik van elektrische energie maar ook een verfijning van de werkwijzen, met als gevolg een sterke toeneming van het aantal schakelmanipulaties. Het toepassen van schakelaars, geregeld door thermische, optische en elektrische processen en van vooraf geprogrammeerde schakelaars zelfs in eenvoudige huishoudelijke apparaten komt steeds meer in zwang. Elke schakelmanipulatie kan aanleiding geven tot een stoorimpuls, die incidenteel weinig hinderlijk is maar het effect kan door cumulatie sterk toenemen.

Internationaal is afgesproken de storingsmaat van een bron afhankelijk te stellen van de impulsherhalingsfrequentie; voor hoge frequenties wordt dit bereikt met een weegnetwerk dat in het meetapparaat is ingebouwd, voor lage frequenties (enkele malen per minuut) wordt een hogere grenswaarde toegelaten naarmate het aantal schakelimpulsen per tijdseenheid geringer is. Indien echter vele apparaten met individueel weinig schakelfuncties gelijktijdig in bedrijf zijn wordt het resulterend aantal impulsen per tijdseenheid zo groot, dat kan worden betwijfeld of het toelaten van een hogere grenswaarde voor de individuele apparaten nog verantwoord is.

In het sterkstroomnet komen zeer vele en soms zeer sterke spanningsimpulsen voor. Onderzoekingen hebben enkele jaren geleden in Engeland uitgewezen dat in 220-V netten met industriële installaties impulsspanningen boven 600 V incidenteel voorkomen en dat spanningsstoten boven 400 V gemiddeld 2 × per dag werden geregistreerd; de pulsduur lag daarbij meestal tussen 1 en 10 μs.

2.2.4. *Thyristoren in sterkstroomtoepassingen*

De laatste jaren wordt steeds meer gebruik gemaakt van, met behulp van thyristoren geregelde, netspanningen. Daarbij wordt een instelbaar deel van de netspannings-sinusgolf geblokkeerd; de rest wordt doorgelaten, door de thyristorschakelaar op het juiste tijdstip te doen geleiden. Bij analyse van een dergelijke golfvorm met oneindig steile flanken blijkt het frequentiespectrum te bestaan uit componenten die vanaf enkele kHz lineair met de frequentie afnemen (20 dB/decade). Bij een eindige stijgtijd, veroorzaakt door traagheid van de ladingsdragers in de thyristoren, ontstaat echter een tweede kantelfrequentie in de omgeving van 1 MHz waarboven het frequentiespectrum met 40 dB/decade afvalt. Deze schakelingen zijn daarom in het frequentiegebied beneden 1 MHz bijzonder ernstige stoorders, boven 1 MHz neemt het stoorniveau snel af en in de FM- en TV-banden is de storing nauwelijks merkbaar. Het gebruik van ontstoringsfilters voor lage frequenties is daarom beslist noodzakelijk, maar doeltreffende filterschakelingen zijn juist voor lage frequenties kostbaar (grote *L*- en *C*-waarden), vooral bij schakelingen die grote netstromen opnemen (verzadiging van de ijzerkern).

De meeste vermogensthyristoren hebben stijgtijden in de orde van enkele μs die een laag stoorniveau bij hoge frequenties garanderen; er komen echter steeds meer snelschakelende thyristoren op de markt waarbij het niveau bij hoge frequenties aanzienlijk hoger kan zijn.

2.2.5. *Collectormotoren*

De collector van elektromotoren is in feite een continu werkende netschakelaar met een schakelfrequentie variërend tussen 1 en 10 kHz, afhankelijk van lamellenaantal en toerental. De collectormotor heeft vanuit het oogpunt van het verlagen van het storingsniveau het grote voordeel ingebouwde spoelen te bezitten – speciaal die van de stator – die als filters voor lage frequenties werken. Het filtereffect neemt bij hogere frequenties t.g.v. parasitaire capaciteiten af, zodat het resulterende stoorspectrum over een groot gebied vrij vlak is. De stoorimpulsen, veroorzaakt door de harde contacten van de collector, bezitten veel steilere flanken dan die veroorzaakt door zachte contacten (halfgeleider-schakelaars) zodat het frequentiespectrum tot veel

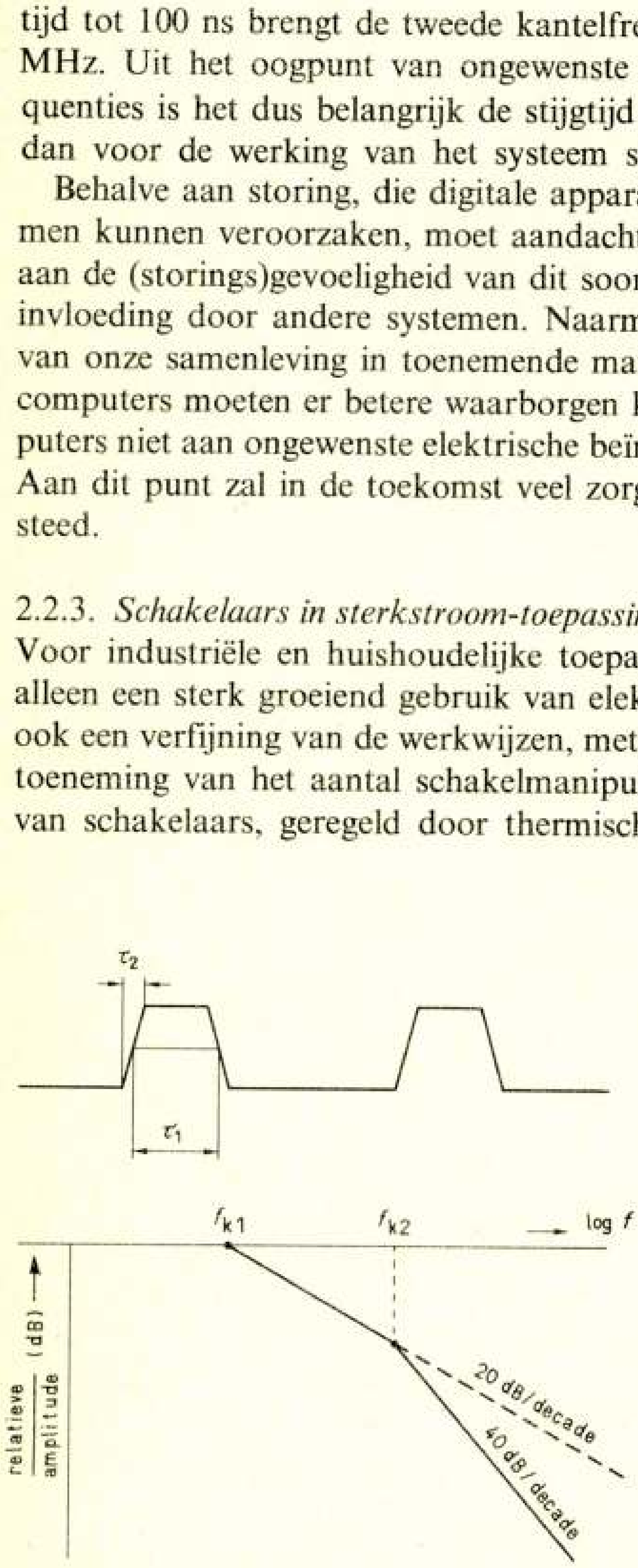


Fig. 3. Trapeziumvormige impulsen en de begrenzingslijnen van het hierbij passende spectrum.

$$f_{k1} = \frac{0{,}318}{\tau_1}$$

$$f_{k2} = \frac{0{,}636}{\tau_2}$$

hogere frequenties doorloopt en pas boven 100 MHz duidelijk gaat afvallen. De collectormotor is daarom een veel ernstiger stoorbron in het gebied van de omroepfrequenties, speciaal FM en TV, dan de in sterkstroom toepassingen gebruikte thyristoren.

Voor het gebied tot ca. 30 MHz kan de collectormotor eenvoudig ontstoord worden m.b.v. condensatoren die het filtereffect van de statorspoelen versterken. Deze ontstoringscondensatoren vertonen resonantie in de omgeving van enkele MHz.

Daarboven worden ze inductief; het ontstoringseffect neemt sterk af. Boven 30 MHz moeten daarom extra spoelen en condensatoren worden ingebouwd, geschikt voor zeer hoge frequenties.

Ter illustratie zij vermeld dat tussen 0,5 en 30 MHz een stoorspanning van 1 mV op het net toelaatbaar wordt geacht, terwijl tussen 30 en 300 MHz het door het netsnoer *uitgestraalde vermogen* bepalend is, dat ongeveer 0,1 μW mag bedragen. Omgerekend op 100 Ω is dit 3 mV.

Een voorzichtige raming van 4 huishoudelijke apparaten – voorzien van collectormotoren – als uitgangspunt nemend voor de uitrusting van een gezin, brengt ons tot een totaal van 20 miljoen potentiële stoorbronnen in ons land, een aantal dat in de toekomst zeker met een veelvoud zal toenemen. Vrees voor een verder toenemende spectrumvervuiling, vooral indien onvoldoende ontstoringsmaatregelen worden genomen, is daarom beslist niet ongegrond.

2.2.6. *Hoogspanningslijnen*

De coronaverschijnselen, kruipstromen en overslag bij hoogspanningslijnen veroorzaken een meer continu ruisvormig storingspatroon met grote bandbreedte. Evenals bij sterkstroomkabelnetten kan het stoorsignaal zich langs de geleiders voortplanten en andere systemen door inductie of uitstraling beïnvloeden. De demping van een bovengronds net is speciaal bij hoge frequenties veel geringer dan bij een kabelnet en de uitstraling is dan veel groter, zodat het niveau van de stoorsignalen laag moet worden gehouden. Dit wordt bereikt door de lijnen doelmatig te construeren. Door het toepassen van een aantal parallelgeleiders worden lage randveldsterkten verkregen en door defecte en vuile isolatoren te voorkomen, vermindert men het aantal kraakstoringen verder.

In Nederland komen zeer weinig klachten over dit type storing voor, in andere landen daarentegen geven bovengrondse netten veel aanleiding tot klachten.

2.2.7. *Gasontladingslampen*

Hierbij wordt een ontlading in een geïoniseerd gas opgewekt, waarbij een ruisvormig stoorsignaal ontstaat. Het stoorsignaal wordt weer op het sterkstroomnet overgedragen en blijkt een spectrum te bezitten dat snel met de frequentie afneemt. De storing wordt dan ook voornamelijk met middengolfontvangst waargenomen. De ballastsmoorspoel in de armatuur werkt als filterelement en het ontstoringseffect kan aanzienlijk worden vergroot door toevoeging van een ontstoringscondensator.

Ook hier gaat het om zeer grote aantallen stoorbronnen daar reeds in één enkel fabrieks- of kantoorgebouw veelal duizenden gasontladingsbuizen voorkomen.

3. Maatregelen ter bescherming van de gebruikers van het frequentiespectrum

De problemen bij spectrumvervuiling liggen in wezen niet anders dan die bij andere soorten milieuverontreiniging. De mate van verontreiniging is steeds een compromis tussen de hoeveelheid geproduceerde afvalprodukten enerzijds en de investeringen die men over heeft voor het onschadelijk maken daarvan. Daarbij blijkt in de praktijk dat een sterk toenemend aanbod van afvalprodukten een, zij het veel kleinere, toeneming van de mate van verontreiniging tot gevolg heeft, m.a.w. er is een eindige tegenkoppelfactor tussen geproduceerde en resulterende verontreiniging. Het over een langere periode constant houden of terugdringen van het verontreinigingsniveau is, op een enkele uitzondering na, niet mogelijk gebleken, waardoor wij tot nu toe met een verarmend leefklimaat worden geconfronteerd. Het ziet er nog niet naar uit dat hierin op korte termijn een verbetering zal intreden.

Bij de vervuiling van het frequentiespectrum groeit het aantal stoorbronnen in een enorm tempo en zelfs als deze bronnen voldoen aan minimale ontstoringsvoorwaarden zal het totale stoorvermogen in het spectrum evenredig met het aantal bronnen meegroeien.

Het voldoen aan bepaalde storingseisen betekent: extra kosten bij de ontwikkeling, fabricage en controle, en dus een verhoogde kostprijs. Het stellen van een dergelijke eis werkt echter alleen effectief indien door de overheid doeltreffende controle wordt uitgeoefend; het ontbreken van een dergelijke controle brengt nl. goedwillende fabrikanten in een ongewenste concurrentiepositie t.o.v. leveranciers, die zich niet aan de afspraken houden.

Het is economisch gezien zeer belangrijk dat de maatregelen in verschillende landen zoveel mogelijk uniform zijn ten einde handelsbelemmeringen tussen landen met afwijkende nationale normen te voorkomen. Men heeft daarom reeds in 1934 het CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques) als internationaal overlegorgaan voor radiostoringen opgericht, dat als een speciaal Technisch Comité deel uitmaakt van het IEC. Dit orgaan stelt aanbevelingen op in overleg met vertegenwoordigers van de administraties en industrieën van de verschillende landen, waarbij ook Nederland actief is betrokken. Deze aanbevelingen hebben betrekking op de specificaties van storingsmeetapparatuur, van meetmethoden en grenswaarden voor de verschillende, hiervoor genoemde soorten stoorbronnen. Voor een overzicht hiervan kan worden verwezen naar de publikatie van een symposium over radiostoringen dat in 1968 door het NERG werd georganiseerd.*)

In EEG-verband is men begonnen met het voorbereiden van richtlijnen die het mogelijk moeten maken de wettelijke voorschriften op het gebied van radiostoringen in de lidstaten op basis van de CISPR-aanbevelingen gelijk te schakelen.

Het is duidelijk dat alleen door een stringente naleving van de voorgestelde normen kan worden voorkomen, dat het frequentiespectrum voor omroep en radioverkeer in de toekomst gedeeltelijk of geheel onbruikbaar wordt, in elk geval voor wat betreft het gebied der lage frequenties.

---

*) 'De Ingenieur' 1968, nr. 42, blz. ET 147 ... 174.

621.391.82

Enige markante storingsgevallen uit de praktijk van de Radiocontroledienst

door M. H. J. Bucx, Centrale Directie der PTT, Radiocontroledienst, 's-Gravenhage



Synopsis: *Some striking Cases of tracing inadmissible Radio Interference, selected from the practice in the Radiocontrol Service of the Netherlands PTT.*

The task is outlined of the Radiocontrol Service of the Netherlands PTT in the fight against harmful interference. Some striking cases are discussed of tracing harmful interference, in which an incandescent metal-wire bulb, a high-tension power line, welding equipment and audio-frequency equipment were involved.

At the end it is considered, which procedures should be followed to estimate possible harmful interference, when new techniques are introduced in the field of ISM-equipment, i.c. the thyristorcontrol of railway traction motors.

It is pointed out that the radiointerference legislation in the Netherlands will have to be harmonized with that of the partners in the European Common Market.

Inleiding

In de beginperiode van de radio was spectrumvervuiling – uiteraard – nog een onbekend begrip. Hoewel de toegepaste technieken weinig verfijnd waren deden zich nagenoeg geen storingen voor omdat het spectrum een zee van ruimte bood aan een relatief klein aantal zenders. Bovendien was het aantal storingsbronnen in de vorm van elektrische apparaten nog betrekkelijk gering. Deze tijd is voorgoed voorbij! Het gebruik van radio voor omroep en professionele doeleinden is, vooral de laatste decennia, geweldig toegenomen.

Hoewel er sinds vroeger jaren nieuwe gebieden van het frequentiespectrum in gebruik zijn genomen is er momenteel toch een nijpend tekort aan spectrumruimte. Ook anderszins zijn de omstandigheden ongunstiger geworden, omdat o.a.:

- het gebruik van elektrische energie voor allerlei toepassingen zeer sterk is toegenomen;
- de woondichtheid vooral in concentratiegebieden aanzienlijk is vergroot;
- vele elektronische apparaten, zoals omroep- en televisieontvangers, versterkers e.d., door de moderne bouwwijze gevoeliger zijn geworden voor instralingen.

Uit het voorgaande blijkt, dat het radioverkeer wordt geconfronteerd met een voortschrijdende verslechtering van de conditie van het transmissiemedium. Het gevolg hiervan is, dat het aantal storingen toeneemt zowel op het gebied van het openbare radioverkeer als op dat van de omroep. In het hiernavolgende zal voornamelijk worden gesproken over storingen in de radio- en televisie-ontvangst.

In artikel 11 van het Radiostoringsreglement 1951 is aangegeven dat klachten over storingen ondervonden in de omroepontvangst behandeld worden door de PTT. Reeds gedurende vele jaren wordt deze taak uitgevoerd door de Radiocontroledienst. Een klacht moet schriftelijk worden ingediend en dient door tenminste twee andere personen die ook last van de storingen ondervinden, te zijn mede-ondertekend. Momenteel worden jaarlijks ca. 3000 klachten behandeld.

Enkele markante storingsgevallen die zich in het jongste verleden hebben voorgedaan zullen in dit artikel worden besproken. Uit de bespreking zal blijken, hoe verschillend de situaties zijn waarin storingen zich kunnen voordoen en wat gedaan kan worden, om deze te voorkomen of op te heffen.

Enkele opmerkelijke storingsgevallen

Metaaldraadgloeilamp

Een weinig bekende storingsbron bij televisie-ontvangst is de nog altijd in gebruik zijnde metaaldraadgloeilamp met v-vormig gespannen gloeidraad. Door dit soort lampen wordt soms een hoogfrequent signaal opgewekt in het frequentiegebied 30 ... 70 MHz. Hoewel over de oorzaken hiervan weinig bekend is, wordt aangenomen dat hier sprake is van zgn. 'Barkhausen' oscillatie-effecten van vrije elektronen. De zelfinductie en capaciteit van de gloeidraad spelen hierbij een rol evenals de potentiaalverdeling langs de gloeidraad. De uitstraling vindt plaats door de aan de lamp bevestigde bedrading. Het hoogfrequentsignaal is instabiel in frequentie en bevat harmonischen en zijbanden door overmodulatie met de netfrequentie.

Het komt nu en dan voor dat de ontvangst van de televisiezender Lopik, kanaal 4, door een dergelijke gloeilamp wordt gestoord. De storingen manifesteren zich in de vorm van één of twee, meer of minder brede en geprofileerde, horizontale strepen of balken over de volle breedte van het beeld. Vastgesteld is dat in steden als Amsterdam, Rotterdam en 's-Gravenhage in een gebied met een straal van 100 à 200 meter rondom een dergelijke gloeilamp storingen kunnen worden ondervonden.

Deze lampen worden gebruikt in kasten, kelders, toiletten, overlopen e.d. en branden meestal slechts kort. Het opsporen van dergelijke storingsbronnen is daarom moeilijk en vaak tijdrovend. Gebleken is dat hierbij het beste gebruik kan worden gemaakt van een draagbare stoorzoekontvanger.

Uiteraard wordt een dergelijk geval opgelost door vervanging van de betreffende lamp.

Hoogspanningslijn

Naar aanleiding van een groot aantal klachten over storingen in de televisie-ontvangst via een gemeenschappelijke antenne-inrichting (g.a.i.) werd onlangs door de Radiocontroledienst een onderzoek ingesteld.

Bij ieder dergelijk onderzoek wordt allereerst nagegaan of de ontvanginstallatie – in dit geval de g.a.i. – aan de eisen voldoet. De installatie moet gevoelig zijn voor ontvangst van de zender, binnen welks verzorgingsgebied deze zich bevindt. De toegepaste antenne dient voor de betreffende ontvangst geschikt te zijn en op de juiste plaats te zijn opgesteld. De antennekabel moet op de juiste wijze zijn aangesloten en mag niet te grote verliezen veroorzaken. Een minimum antennespanning is voorgeschreven. Tenslotte dient ook het televisietoestel geen tekortkomingen te vertonen.

De betreffende installatie bleek geheel aan de eisen te voldoen, in het beeld werden echter nu en dan over een groot deel van het oppervlak impulsvormige storingen zichtbaar. Volgens de klagers traden de storingen soms wekenlang niet op. Was er wel storing, dan deed deze zich op onregelmatige tijden en met wisselende intensiteit voor.

Een uitgebreid onderzoek leverde als resultaat op dat de oorzaak van de storingen moest worden gezocht in een 150 kV-hoogspanningslijn, die niet lang te voren was aangelegd en die op een afstand van ongeveer 500 meter langs de betreffende woningen liep. Overleg met de betreffende elektriciteitsmaatschappij had als resultaat de toezegging, dat een deel van de hoogspanningslijn en een in de nabijheid gelegen schakelstation op tekortkomingen zouden worden geïnspecteerd. Hoewel dit nauwgezet werd gedaan, kwamen er geen defecten aan het licht.

Zoals bekend vindt de storende werking van een hoogspanningslijn zijn oorzaak meestal in corona-effecten, welke optreden aan de geleiders en de isolatoren, of in defecten van de toegepaste materialen. Corona-effecten treden op aan de oppervlakte van de geleiders waar ten gevolge van de hoge veldsterkte elektrische ontladingen plaatsvinden naar de omringende lucht. Soms zijn deze ontladingen zichtbaar en hoorbaar. Het gevolg van de ladingsverplaatsingen is dat onder meer uitstraling ontstaat waardoor een stoorveldsterkte optreedt die als functie van de frequentie snel in sterkte afneemt. Onder normale omstandigheden zal in de buurt van de lijn dan ook de langegolfontvangst *wel* maar de televisie-ontvangst *niet* worden gestoord. Bij een verstoring van het oppervlakteverloop van de geleiders, bijv. door sneeuw of door ijsvorming, kunnen de corona-effecten aanzienlijk in sterkte toenemen, waardoor dan bovendien de televisie-ontvangst gestoord kan raken.

De hinder bestaat meestal uit twee horizontale banden met impulsvormige storingen, op een onderlinge afstand van de halve beeldhoogte, en over de volle beeldbreedte. Deze banden bewegen in horizontale richting over het beeldscherm indien de beeldfrequentie niet geheel gelijk is aan de netfrequentie.

Naar aanleiding van hernieuwde klachten over storingen werd door de Radiocontroledienst nogmaals een onderzoek ingesteld. Het verdachte gedeelte van de lijn werd hierbij bovendien aan een nauwkeurige optische controle onderworpen. Door gebruik te maken van een verrekijker kon uiteindelijk worden vastgesteld, dat één van de vele binddraden, die bij de aanleg van de lijn waren gebruikt, aan de aandacht was ontsnapt en over een der stroomdraden was blijven hangen. De gevolgen waren niet uitgebleven. Door de spitswerking van de binddraad trad een verhoogde coronawerking op. Merkwaardigerwijze deden zich echter alleen onder bepaalde weersomstandigheden televisiestoringen voor. Het bleek dat bij regenweer en wind uit westelijke richtingen er vrijwel geen storingen optraden. De binddraad verschoof dan over de stroomdraad en werd tegen een isolator gedrukt. Bij droog weer en wind uit oostelijke richtingen daarentegen verschoof de binddraad naar het midden van de lijn, wat de aanleiding werd tot het optreden van heftige storingen.

Met het verwijderen van de binddraad was dit storingsgeval definitief opgelost.

Argon-arc lasapparaat

Een storingsbron, die in de loop der jaren herhaaldelijk aanleiding tot moeilijkheden heeft gegeven bij de professionele ontvangst in het HF-gebied en bij de televisie-ontvangst, is het zgn. argon-arc lasapparaat. Bij dit type lasapparaten maakt men gebruik van niet-beklede lasstaven. Om oxyde- en nitrietvorming tijdens het lassen te voorkomen wordt de lasstaaf omgeven door een argon gasstroom, waardoor de las tijdens en direct na het lassen als het ware wordt afgedekt. Bij deze apparaten wordt een zgn. hoogfrequent boogstabilisator toegepast, om het vormen van de boog door de lasstroom te vergemakkelijken. Dit wordt bereikt door het argongas in sterke mate te ioniseren, door middel van een hoogfrequente spanning welke in de boogstabilisator wordt opgewekt en inductief naar het lascircuit wordt overgebracht. De werking is zo effectief, dat de lasboog reeds wordt gevormd voordat het werkstuk door de laselektrode wordt aangeraakt. Bij het lassen met wisselstroom bewerkt de boogstabilisator voorts een snelle ontsteking van de boog na de doving die telkens bij de nuldoorgangen van de lasstroom optreedt.

De werking van de boogstabilisator kan men vergelijken met die van een vonkzender uit de beginperiode van de radio. Een uit het net gevoede transformator heeft een secundaire spanning van ca. 4 kV. Over de secundaire klemmen is een vonkenbrug met een serieschakeling van een spoel en een condensator aangesloten. De vonkenbrug wordt zodanig ingesteld, dat bij het bereiken van de topwaarde van de netspanning doorslag optreedt. Tijdens deze doorslag wordt een trillingskring gevormd, waarin een gedempte hoogfrequente trilling ontstaat. Dit verschijnsel herhaalt zich met een frequentie van 100 Hz. De trillingskring wordt afgestemd op een frequentie van 1,5 à 3 MHz. De op deze wijze verkregen hoogfrequente spanning is erg instabiel in frequentie en bevat in hoge mate harmonischen. Deze spanning is in sterke mate overgemoduleerd in het dubbele van de netfrequentie, waardoor een breedbandig modulatiespectrum ontstaat.

De praktijk heeft aangetoond, dat bij gebruik van de beschreven argon-arc lasapparatuur een zodanige spectrumverontreiniging kan voorkomen dat hierdoor de ontvangst zowel in het HF-gebied als ook in de televisiebanden I en III in ernstige mate kan worden gestoord. Gebleken is dat een effectieve ontstoring van een hoogfrequent boogstabilisator vrijwel niet mogelijk is. Wellicht is dit ook de reden dat in de CISPR Recommandatie 39, betreffende de grenswaarden voor stoorspanning en stoorveldsterkte van onder meer industriële apparaten, de hoogfrequente lasboogontstekingsapparatuur met name wordt uitgezonderd.

Dat de industrie deze apparatuur op vrij grote schaal toepast, moet worden gezocht in de relatief lage prijs en in de voordelen die het gebruik biedt zoals de goede ontsteking en stabilisatie van de lasboog, de eenvoudige constructie, het geringe onderhoud en de grote bedrijfszekerheid. Een alternatief wordt geboden in de zgn. elektronische boogstabilisator die nagenoeg geen storingen in de radio- en televisie-ontvangst veroorzaakt.

Bij deze apparatuur wordt alleen voor het *ontsteken* van de lasboog gedurende korte tijd een hoogfrequente spanning toegepast. Bij wisselstroomlassen treedt aan het begin van elke positieve halve periode een spanningsimpuls op, waardoor de boog wordt herontstoken, en dus gestabiliseerd. Deze apparatuur wordt nog weinig toegepast, waarschijnlijk omdat zij duurder, ingewikkelder van constructie en kwetsbaarder is dan de hoogfrequent stabilisator.

Lasapparaat voor plastics

Behalve voor telecommunicatiedoeleinden wordt hoogfrequent energie op steeds grotere schaal benut voor industriële en medische doeleinden. Voorbeelden hiervan zijn de inductieve en capacitieve verwarmingsapparaten, lasapparaten voor plastics, diathermie-apparaten e.d. Hoewel voor het gebruik van deze apparatuur internationaal frequenties zijn vastgesteld wordt hieraan niet altijd de hand gehouden. Daar komt nog bij, dat de frequentie waarop wordt gewerkt sterk door het werkproces wordt beïnvloed. Frequentieafwijkingen tot 15% komen voor. De vermogens, die voor deze apparatuur worden toegepast, variëren van enkele watts tot ca. 100 kW. Indien in aanmerking wordt genomen, dat in ongunstige gevallen tot ca. 10% hiervan kan worden uitgestraald, is het duidelijk dat bij het gebruik van deze apparatuur storingsverschijnselen zullen kunnen optreden.

Naar aanleiding van een dergelijk storingsgeval schreef een klager: 'Met tussenpozen van 5 minuten wordt alles zwart en gestreept en treedt een vreselijk geluid op. Wij zitten tussen drie werkplaatsen in, waarvan één met hetzelfde euvel als wij, dus die kan het niet zijn. Wij verzoeken u daar spoedig een eind aan te maken'. Een onderzoek toonde aan dat de hinder werd veroorzaakt door een plastic-lasapparaat met een vermogen van ca. 40 kW, werkend op een frequentie van ca. 19,2 MHz.

De ontvangmogelijkheden ter plaatse waren zodanig, dat naast een aantal FM-zenders ook televisiezenders in de banden I, III en IV/V konden worden ontvangen. Tijdens de werkuren deden zich rondom het bedrijf, dat midden in een woonwijk gelegen was, in een gebied met een straal van ca. 300 meter storingen voor in de ontvangst van vrijwel alle FM- en televisiezenders, als gevolg van oversturing of instraling in de ontvangers of door harmonischen van de werkfrequentie van het lasapparaat.

Bij het veroorzaken van storingen door dergelijke apparatuur spelen de volgende factoren een belangrijke rol:

- straling van de hoogfrequentleidingen en de laselektroden;
- kaststraling van de oscillator;
- stoorspanningen via het sterkstroomnet;
- keuze van de werkfrequentie;
- frequentieverschuiving tijdens het lasproces;
- aard en stabiliteit van de voedingsspanning van de oscillator.

Een nadere beschouwing toonde aan dat wijziging van de apparatuur in dit geval onoverkomelijk grote onkosten voor de gebruiker met zich zou brengen. Door de grote afmetingen van de betreffende apparatuur zou het onderbrengen ervan in een afgeschermde ruimte eveneens tot onaanvaardbaar grote onkosten leiden, afgezien nog van verdere bezwaren die aan deze oplossing waren verbonden. Onder de gegeven omstandigheden werd dan ook door de Radiocontroledienst geadviseerd, het betreffende bedrijf naar een industriegebied te verplaatsen dat op voldoende grote afstand van de woonwijken was gelegen. Door verbouwingen welke inmiddels hadden plaatsgevonden kon echter ook dit advies niet meer worden opgevolgd.

Om tegemoet te komen aan de gerechtvaardigde wensen van de klagers is toen door de directie van het bedrijf besloten de werkzaamheden aan bewuste machine gedurende de uitzendingen van de Nederlandse televisie geheel te staken.

Opgemerkt zij, dat het gebruik van ISM-apparatuur tot nu toe in Nederland niet aan een machtigingenstelsel is gebonden.

Audio-apparatuur

Een aantal jaren geleden werden door de Radiocontroledienst klachten ontvangen uit Amsterdam over een hinderlijke fluittoon, die optrad bij het gebruik van audio-apparatuur zoals hi-fi-installaties, bandrecorders e.d.

Uit een ingesteld onderzoek bleek, dat een stoorspanning met een frequentie van ca. 2 kHz en een spanning van 1 à 2 V aanwezig was op de kabels van het sterkstroomnet, waardoor zich in een wijk met een oppervlakte van ca. 1 km^2 storingen voordeden. Bij het onderzoek werd onder meer gebruik gemaakt van een draagbare ontvanger waarvan de 'pick-up'-ingang via een kabel was verbonden met een capacitieve aftaster. Waar men zich ook in de wijk bevond, overal bleek de storende toon hoorbaar te kunnen worden gemaakt bij het aftasten van metalen voorwerpen zoals regenpijpen, afrasteringen, putdeksels, geparkeerde auto's e.d. Na moeizaam speurwerk kon tenslotte worden vastgesteld, dat de stoorspanning werd opgewekt door de elektromotor van een der pompaggregaten opgesteld in de pompkamer van een overheidsbedrijf. Bij de vele jaren geleden verrichte afnamekeuring van dit aggregaat, dat een aandrijfvermogen van 180 kW vereist, waren geen bijzonderheden aan het licht getreden. Aangezien het bedrijf vroeger buiten de bebouwing van Amsterdam was gelegen was er nooit hinder ondervonden van de stoorspanning. Door stadsuitbreiding groeide later een geheel nieuwe wijk rondom dit bedrijf, waardoor de van de aanvang aanwezige stoorspanning werd opgemerkt, en toen aanleiding tot klachten ging geven.

Door de aard van het bedrijf kon geen gelegenheid worden geboden om een verder onderzoek aan de betreffende motor in te stellen. In overleg met de bedrijfsleiding en het GEB te Amsterdam werd daarom besloten parallel aan de aansluitklemmen van de motor een aantal cos φ condensatoren aan te sluiten met een gezamenlijk blindvermogen van 40 kV·A.

Hernieuwde metingen wezen uit, dat door deze maatregel het niveau van de stoorspanning met ca. 20 decibel was gedaald, hetgeen voldoende bleek te zijn om de hinder die werd ondervonden op te heffen.

Invoeren van nieuwe technieken

Ongewenste beïnvloedingen van verschillende elektrische systemen op elkaar doen zich, zoals uit de gegeven voorbeelden blijkt, regelmatig voor. Bij het invoeren van nieuwe technieken is het daarom van belang vooraf na te gaan hoe groot de kans op het veroorzaken van storingen is en wat gedaan zou kunnen worden om deze kans zo gering mogelijk te maken.

Een goed voorbeeld hiervan is het nog lopende onderzoek van de Nederlandse Spoorwegen en PTT betreffende mogelijke storingen in lijn- en radiocommunicatie, welke veroorzaakt kunnen worden door de tractiestromen van treinstellen met zogenaamde pulssturing. Bij deze treinstellen wordt de regeling van de snelheid verkregen door de tractiestromen pulsgewijs te sturen door middel van thyristoren. Hierbij treden in zeer korte tijd grote stroomveranderingen op, waardoor de kans groot is dat storingen in andere elektrische systemen worden veroorzaakt. Hierbij zijn direct betrokken:

a. de signalen van de beveiligingsinstallaties van de NS in het frequentiegebied 20...300 Hz;
b. het telefoonverkeer in NS- en PTT-kabels in het frequentiegebied 300...3000 Hz;
c. de ontvangst van professionele en omroepuitzendingen in het frequentiegebied boven 10 kHz.

In de gevallen genoemd onder a. en b. gaat het om de koppeling tussen het tractiecircuit en de circuits van het Seinwezen en de telefoondiensten. De in de tractieretourstromen aanwezige wisselstroomcomponenten induceren stoorspanningen in de genoemde circuits welke niet boven bepaalde grenswaarden mogen stijgen. Om hierover gegevens te kunnen verzamelen worden op bepaalde trajecten van de NS proefritten gemaakt, waarbij de stoorspanningen op magnetische band worden vastgelegd. Door deze banden te analyseren kan een overzicht worden verkregen van de optredende stoorspanningen naar grootte, frequentie en duur. Indien de gemeten spanningen te groot zijn kan een oplossing worden gezocht in een betere symmetrering of een andere routering van de betreffende kabels.

In het geval genoemd onder c. gaat het om de stoorveldsterkte veroorzaakt door het treinstel. De steile flanken van de door de thyristoren geschakelde gelijkstroom geven aanleiding tot het optreden van een groot aantal storingscomponenten die over een breed frequentiespectrum zijn gespreid. De grootte van deze componenten neemt af naarmate de frequentie toeneemt. Uitstraling vindt plaats door de bovenleiding. Door de grote lengte van deze leiding wordt het uitstralen van de lagere frequenties vergemakkelijkt. De lange- en middengolfontvangst loopt hierbij dus het grootste gevaar gestoord te worden. In dit geval gaat het erom, dat de stoorveldsterkte op een bepaalde afstand van de bovenleiding een gegeven grenswaarde niet mag overschrijden. Mocht dit wel het geval zijn, dan kan een oplossing worden gezocht door het aanbrengen van een hoogfrequent ontkoppelfilter tussen de thyristorschakeling en de stroomafnemer van het treinstel.

Het verdere onderzoek zal moeten aantonen of in verband met de invoering van de pulssturing ingrijpende maatregelen nodig zullen zijn om een ongestoorde werking van de genoemde systemen te waarborgen.

Wettelijke voorschriften

Verheugend is dat de praktijk van de Radiocontroledienst aantoont dat men in het algemeen begrip heeft voor het probleem van de spectrumvervuiling. In het overgrote deel van de storingsgevallen, die zich voordoen, wordt vrijwillig medewerking verleend bij het nemen van ontstoringsmaatregelen zonder dat hierbij voorschriften behoeven te worden gehanteerd. Het is echter noodzakelijk dat de wettelijke regelingen worden verbeterd en uitgebreid waardoor de Radiocontroledienst in voorkomende gevallen effectief kan optreden tegen de fabrikant, de importeur of de gebruiker van een storende elektrische voorziening. De huidige voorschriften hebben betrekking op:

- het voorkomen van storingen veroorzaakt door collectormotoren in de middengolfontvangst;
- het voorkomen van storingen in de FM- en TV-ontvangst door ontstekingsinrichtingen van verbrandingsmotoren.

Aangezien deze voorschriften ten dele verouderd zijn, en in ieder geval uitbreiding behoeven, is een aanpassing noodzakelijk. Te vaak nog wordt in ons land geprofiteerd van de vruchten die de wetgeving in de omringende landen reeds afwerpt.

De Radiostoringscommissie is ingesteld om de minister en de directeur-generaal der PTT over het opstellen van een radiostoringswetgeving te adviseren. Deze commissie heeft nieuwe voorschriften in voorbereiding, die zoveel mogelijk gericht zullen zijn op de aanbevelingen van het CISPR. In deze voorschriften zullen bepalingen worden opgenomen die het in de handel brengen van storende elektrische apparatuur strafbaar stellen.

Nauwlettend worden de ontwikkelingen in EEG-verband gevolgd. Het ligt in de bedoeling uniforme voorschriften betreffende de ontstoring van elektrische apparatuur op te stellen die voor alle EEG-landen bindend zullen zijn. Wellicht kan mede door een verbetering van de wetgeving worden bereikt dat althans de verdere vervuiling van het frequentiespectrum tot een minimum wordt beperkt.

Korte technische berichten

60 MHz brede coaxiale transmissiesystemen

Op het gebied van de bredeband transmissie over coaxiale kabels zijn als grootste systemen die met een bandbreedte van 12 MHz per coaxiaal paar in gebruik. De industrie is echter reeds zo ver gevorderd met het ontwikkelen van een 60 MHz breed systeem, dat hiermee op een proeftraject ervaringen kunnen worden opgedaan. De Deutsche Bundespost heeft een 60 MHz-proeftraject ingericht in het district Dortmund. De Britse Post Office heeft plannen om met een 60 MHz breed systeem praktijkproeven nabij Marlborough te ondernemen.

De met het Philips concern gelieerde Pye Telephone Manufacturing Company ontving van de Post Office de opdracht, een coaxiaal lijntransmissiesysteem te ontwikkelen met een breedte van 60 MHz. Zodra met praktijkproeven zekerheid is verkregen, dat het nieuwe systeem aan de wensen van de Post Office voldoet, zal met het aanleggen van een verbinding tussen Londen en Birmingham worden begonnen, welke men in de loop van 1975 in gebruik hoopt te nemen. Daarna zal de verbinding naar Manchester worden doorgetrokken.

Volgens de specificaties van de Post Office, die kanaalstapeling volgens plan 2 van het CCITT toepast, accepteert de eindapparatuur twaalf basis '15-supergroup assemblies', elk met een frequentieband van 312-4028 kHz. Eén assembly wordt direct naar lijnligging gemoduleerd, de elf overige assemblies worden eerst gemoduleerd naar de frequentieband van de '15-supergroup 3' (8620-12 336 kHz) en daarna naar de lijnligging. De totale frequentieband loopt dan van 4404 kHz tot 59 580 kHz (fig. 1a).

De modulatie-apparatuur kan ook worden gebruikt om de lijnband in kanalen in te delen volgens plan 1 van het CCITT. De frequentieband loopt dan van 4332 kHz tot 59 684 kHz en omvat twaalf quaternaire groepen (fig. 1b).

Het frequentiegebied beneden 4 MHz wordt gebruikt voor het overdragen van signalen, die gegevens leveren over foutlokalisering, supervisie en regeling op afstand.

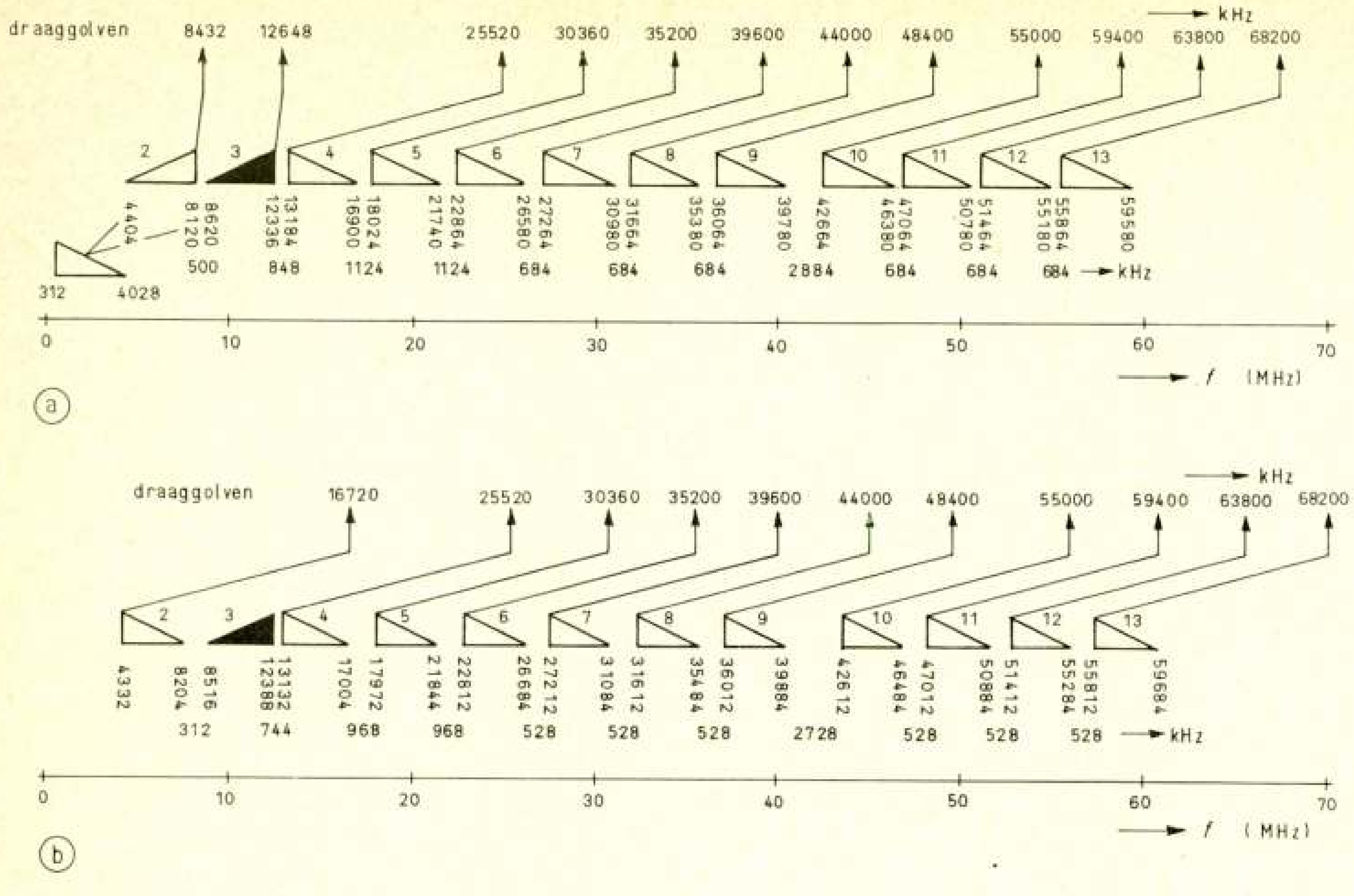


Fig. 1. Overzicht lijnfrequenties voor een 60 MHz-bredeband systeem op het 2,6/9,5 mm coaxiale paar.
a. Volgens plan 2 van het CCITT.
b. Volgens plan 1 van het CCITT.

Bij de nieuwe 60 MHz-lijnapparatuur kunnen de bovengrondse versterkerstations over afstanden van ongeveer 120 km uit elkaar worden geplaatst. De Post Office zal echter geen afstanden groter dan 60 km in haar programma opnemen. In de bovengrondse versterkerstations is de benodigde apparatuur voor voeding, lijnegalisatie, regeling en foutlokalisering ondergebracht. In deze versterkerstations bevindt zich bovendien het complexe deel van het regelsysteem van de *regelbare* lijnversterkers, die op onderlinge afstanden van 7,5 km zijn ingegraven. Tussen deze lijnversterkers zijn op afstanden van ongeveer 1,5 km vast ingestelde lijnversterkers ingegraven, die door hun eenvoud van opzet een minimum aan componenten bevatten. Een

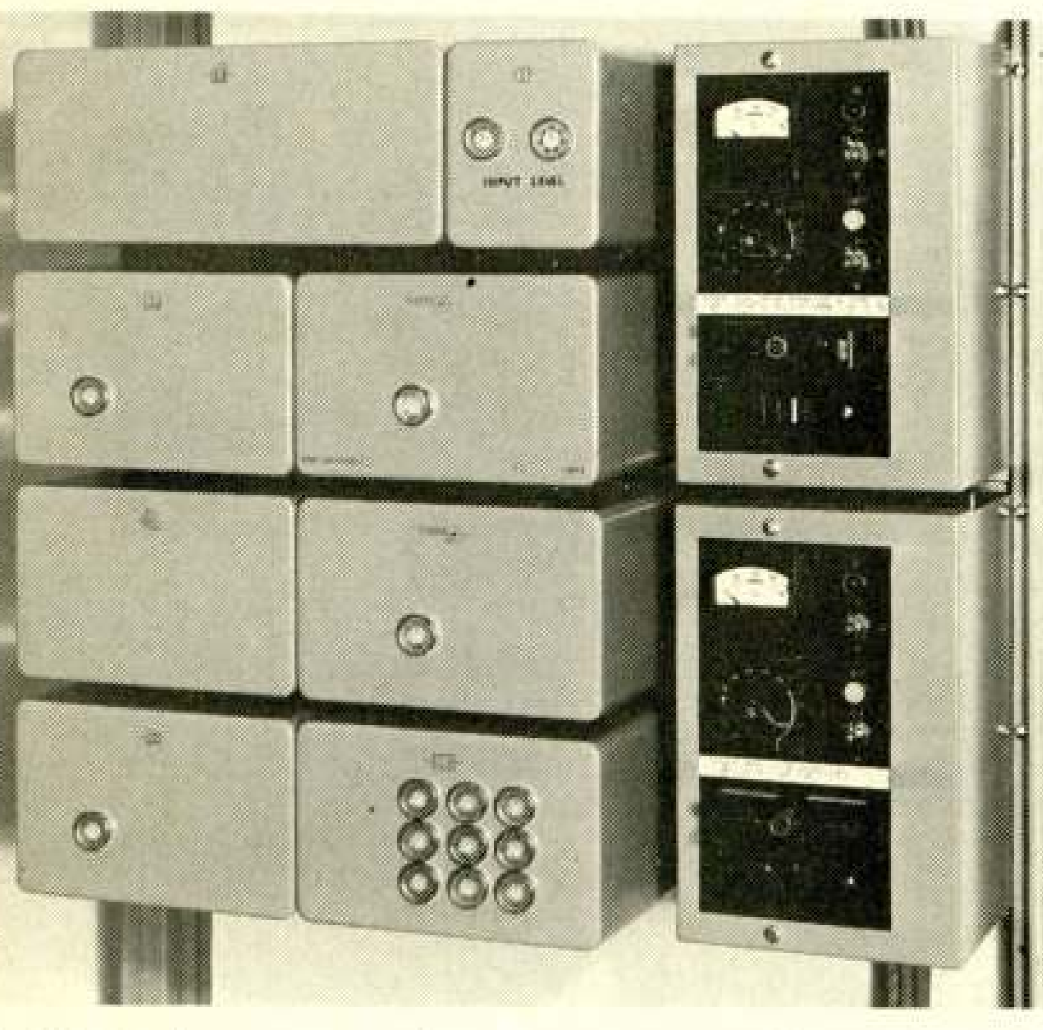


Fig. 2. Detail van een rek met apparatuur in conclave uitvoering. Een TV-modulator subrek en een TV-demodulator subrek, met aan de rechterzijde een aansluit-, meet- en alarmeringspaneel (Philips' Telecommunicatie Industrie).

volledige versterkerschakeling, inclusief de scheidingsfilters van de voeding en de bescherming tegen blikseminslag, kan op een printkaart van 16 × 7,5 cm worden ondergebracht. Voor de verbinding tussen de versterkers wordt gebruik gemaakt van normale 2,6/9,5 mm coaxiale kabels.

Een piloot, gelegen boven de voor de kanalen benodigde frequentieband, wordt aan de zendzijde geïnjecteerd en wordt in pilootontvangers aan de ontvangzijde van de tussenliggende bovengrondse stations onderzocht. De pilootontvangers sturen regelversterkers, die niveauveranderingen terugbrengen tot minder dan 0,2 dB. Zodra de niveauveranderingen deze waarde overschrijden, wordt de regeling op afstand in werking gesteld.

De totale ruisbijdrage van de lijnapparatuur is minder dan 1,5 pW/km in het slechtste kanaal, bij een belasting van −15 dBm per kanaal.

De eindapparatuur, die door Philips' Telecommunicatie Industrie wordt vervaardigd, is in de bekende conclave constructie uitgevoerd, welke ook in de eindapparatuur van de 4 MHz-, 6 MHz- en 12 MHz-bredeband systemen van de PTI wordt toegepast (fig. 2).

Door Siemens wordt een 60 MHz-transmissiesysteem geleverd aan de Zweedse Telecommunicatie Administratie. Men denkt in 1972 het traject Västeras-Örebro in bedrijf te kunnen geven. Een tweepijpsverbinding ter lengte van 400 km zal daarna tussen Västeras en Göteborg worden geïnstalleerd.

De capaciteit van een 60 MHz-bredeband systeem bedraagt 10 800 telefoonkanalen. In plaats daarvan zouden zes kleurentelevisiekanalen kunnen worden overgedragen. De capaciteit van dergelijke coaxiale kabelverbindingen kan tot een veelvoud van 60 MHz worden uitgebreid, door kabels opgebouwd uit een aantal coaxiale pijpen te gebruiken. Voor sommige trajecten zullen kabels met 12 tot 20 pijpen moeten worden samengesteld.

Vergelijk 'De Ingenieur' 1968, nr. 16, blz. ET 49...ET 60 en nr. 20, blz. ET 61...ET 77.

Uit het NERG

Administratie van het NERG: Postbus 39, Leidschendam.
Giro 94746 t.n.v. penningmeester NERG, Leidschendam.
Secretariaat van de Examencommissie-NERG: von Geusaustraat 151, Voorburg.

Personalia

Prof. ir. J. W. Alexander hield op 15 oktober 1971 zijn afscheidscollege aan de T.H. Delft. In dit college beschouwde hij o.a. de doelstellingen van het wetenschappelijk onderwijs. Hij vroeg zich af of wellicht, maatschappelijk gezien, een korte beroepsopleiding voor het merendeel der studenten aan hogescholen en universiteiten en een vermindering van de mogelijkheden om een wetenschappelijke opleiding van langere duur te volgen, een bevredigender oplossing zou zijn dan die volgens het huidige systeem. (Zie 'De Ingenieur' 1971, nr. 45, blz. A 845 ... 848.)

Ir. G. L. Reijns is bij Koninklijk Besluit benoemd tot gewoon lector aan de T.H. Delft in de Afdeling der Elektrotechniek om onderwijs te geven in de informatietechniek, met ingang van de dag waarop hij zijn ambt zal aanvaarden.

Stichting Radiostraling van Zon en Melkweg ontvangt de Vederprijs

In de bijzonder passende omlijsting van de tentoonstelling 'Het Instrument' werd in een gemeenschappelijke vergadering van het NERG en het Nederlands Akoestisch Genootschap, in de Nieuwe RAI te Amsterdam, op maandag 4 oktober jl. de Vederprijs voor 1970 uitgereikt door mevrouw C. E. van Hoboken-Veder, voorzitster van het Wetenschappelijk Radiofonds Veder. De prijs, bestaande uit de gouden Vedermedaille, een oorkonde en een geldbedrag, is toegekend aan het bestuur van de Stichting Radiostraling van Zon en Melkweg, als eerbetoon voor het verwerkelijken van de synthese radiotelescoop van Westerbork, kortweg aangeduid met 'WSRT'. Een drietal vertegenwoordigers van degenen, die aan het project hun medewerking hadden verleend, nam de prijs in ontvangst (fig. 3).



Fig. 3. Mevrouw Van Hoboken-Veder overhandigt de gouden Vedermedaille aan één der vertegenwoordigers van het personeel van de Stichting Radiostraling van Zon en Melkweg.

Tevoren had prof. dr. ir. J. L. Bordewijk als bestuurslid van het Vederfonds de overwegingen bekend gemaakt. Wij ontlenen aan zijn toespraak het volgende.

Het was eigenlijk voor het bestuur van de Stichting Wetenschappelijk Radiofonds Veder een betrekkelijk eenvoudige zaak vast te stellen dat de totstandkoming van de Synthese Radiotelescoop, die op 24 juni 1970 te Westerbork officieel in gebruik werd gesteld door H.M. de Koningin in tegenwoordigheid van de Minister van Onderwijs en Wetenschappen, gerekend moet worden tot de grootste technisch-wetenschappelijke prestaties op radiogebied in de afgelopen jaren.

Deze prestatie kon tot stand komen dank zij een aantal begunstigende maar ook ondanks vele bemoeilijkende factoren.

Tot de begunstigende factoren moet ongetwijfeld worden gerekend de bloei van de Nederlandse astronomie en van de vaderlandse radio-astronomie. Ging het bij de bouw van de Dwingeloo-telescoop nog om het onderzoek van 'onze' melkweg door meting van de 21 cm waterstoflijn zoals die door Van de Hulst in 1945 was voorspeld, bij de WSRT gaat het om grotere concepties en durft Oort, oprichter en jarenlang voorzitter van de Stichting Radiostraling van Zon en Melkweg, ter gelegenheid van de indienststelling zelfs te gewagen van een mogelijke begrenzing van het heelal, wat leidt tot de gedachte of wellicht de kromtestraal van het heelal te meten zou zijn.

Tot de bemoeilijkende factoren kan gerekend worden het in ons kleine land uiteraard beperkte budget waarmede een radiotelescoop gebouwd diende te worden, die – zo verlangden onze astronomen – verder zou reiken dan welke radiotelescoop ter wereld ook.

Dat dit is gelukt mag U, medewerkers aan het project, een gevoel van trots en blijdschap geven, want zonder in deze considerans tot een beschrijving van de WSRT te willen en te mogen geraken wil ik toch een aantal problemen opsommen, die U werden voorgelegd en die U tot een oplossing hebt gebracht op een zodanige wijze dat U, naar de mening van het door mij vertegenwoordigde WERA-fonds Veder, de Vederprijs 1970 toekomt.

Een grondige analyse van wat ik zou willen noemen het multi-interferometerprobleem heeft U – na een geducht rijpingsproces – tot een oplossing gebracht waarin U met 12 telescopen met een middellijn van 25 meter het oplossend vermogen van een denkbeeldige enkelvoudige telescoop van 1600 meter doorsnede benadert. Deze overigens noodzakelijke zuinigheid kost U weliswaar waarnemingstijd, maar van een aanvaardbaar quantum.

De mechanische opzet, de ongelooflijke precisie van enkele mm over de gehele lengte van 1600 meter van het instrument, de daarvoor vereiste speciale meettechnieken met o.a. correctie voor lichtstraalkromming, de materiaalkeuze, verraden de hand van één of meerdere meesters op het grensgebied van mechanische precisievraagstukken en het gedrag van microgolfcomponenten.

De gerenommeerde moeilijke fase-egalisatie met vertragingslijnen, effenaars, stukjes kunstkabel en dergelijke is ondanks temperatuurproblemen zo goed uitgevallen dat de WSRT de vereiste precisie en gevoeligheid heeft gekregen van ongeveer één boogseconde per centimeter golflengte. In combinatie met

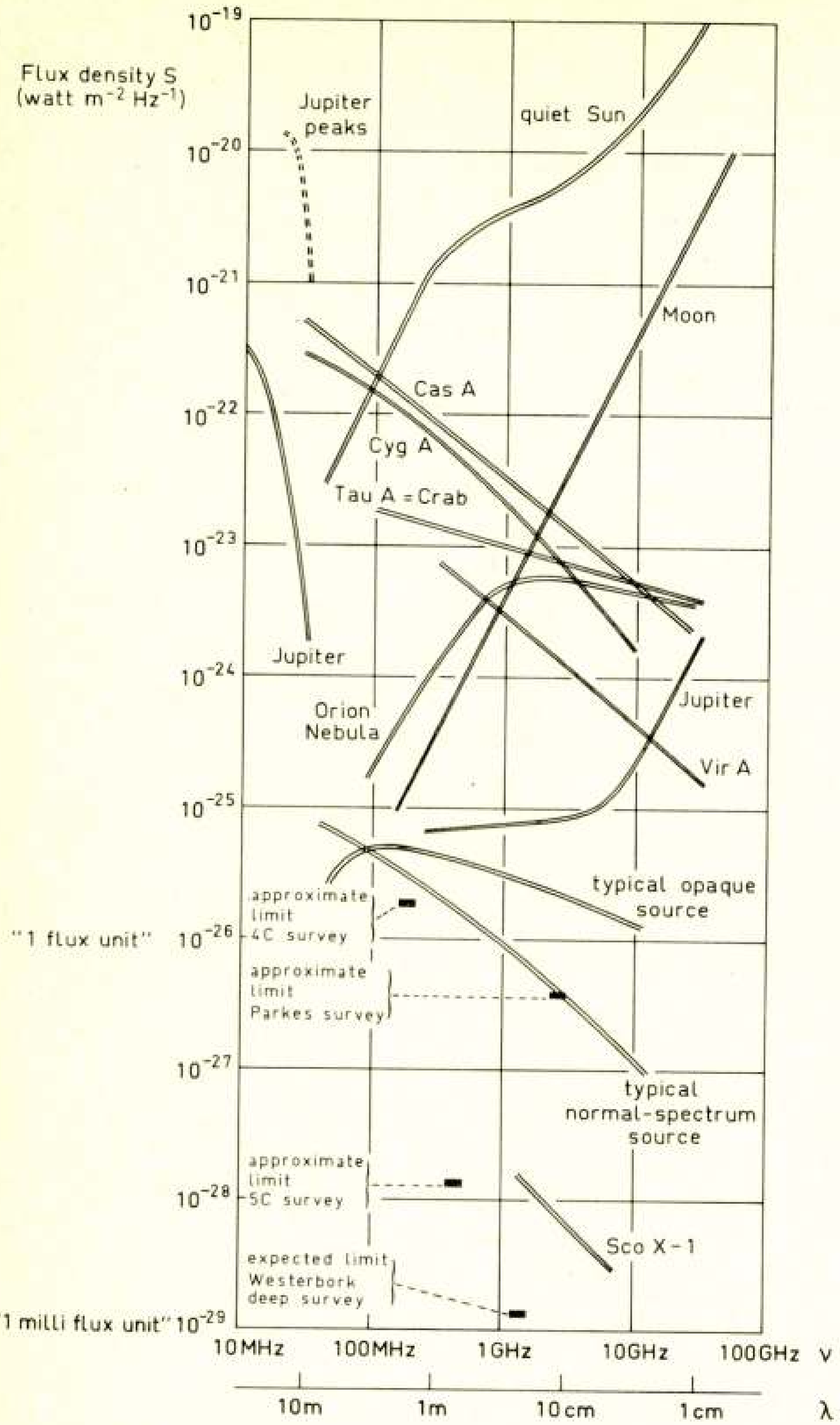


Fig. 4. Overzicht van fluxdichtheden, gemeten aan een aantal bekende radiobronnen.

de zeer goede polarisatiescheiding kan de WSRT daardoor worden gebruikt voor bepaling van nog onbekende magneetveldstructuren d.m.v. de zgn. synchrotronemissie.

De genoemde bezuiniging heeft een omvangrijk rekenprogramma nodig gemaakt om de veelheid van meetgegevens te reduceren hetgeen eveneens door U is gerealiseerd.

Tenslotte was voor dit project een coördinatie vereist, die door de projectleiders ir. B. G. Hooghoudt en prof. ir. C. A. Muller kennelijk met succes is opgebracht. Maar dit succes is uiteraard evenzeer te danken aan de gecoördineerden of liever aan hen die zich actief lieten coördineren zowel binnen als buiten de Stichting Radiostraling van Zon en Melkweg.

Hoewel het, zoals ik zei, enerzijds een betrekkelijk eenvoudige aangelegenheid was voor het bestuur van het Wetenschappelijk Radiofonds Veder, vast te stellen dat er bij de totstandkoming van de WSRT sprake is van een grootse radiotechnische prestatie, lag er anderzijds een stuk historie waarin het Vederfonds in het bijzonder individuele prestaties voor een prijs in aanmerking heeft gebracht. In de erkenning echter dat grote radio-instrumenten zoals de WSRT, ondanks markante bijdragen van enkelingen, toch alleen maar een kans op realisering maken door het gezamenlijk optrekken van een team van specialisten en hun medewerkers, omdat er in feite sprake is van een instrumentatiesysteem waartoe de bijdragen van talloze disciplines nodig zijn, heeft het bestuur van de Stichting Wetenschappelijk Radiofonds Veder gemeend de gouden Vedermedaille 1970 te moeten toekennen aan het bestuur van de Stichting Radiostraling van Zon en Melkweg, als vertegenwoordiger van al diegenen die aan de totstandkoming van het 'project WSRT' hebben bijgedragen.

Na de prijsuitreiking sprak prof. dr. H. C. van de Hulst, voorzitter van de Stichting Radiostraling van Zon en Melkweg, een dankwoord uit, waarbij hij aan de hand van enkele dia's de aanwezigen een indruk gaf van de imposante afmetingen van de opstelling te Westerbork. De gevoeligheid van de ruismeetapparatuur in de radio-astronomie is in de loop der laatste jaren aanmerkelijk toegenomen, zoals uit een overzicht van gemeten fluxdichtheden blijkt (fig. 4).

De eerste zonneruismetingen van ir. De Voogt te Kootwijk hadden betrekking op fluxdichtheden van 10^{-20} W/m^2 per Hz; de metingen aan de 21 cm lijn te Kootwijk van prof. Muller gingen om 20 fluxeenheden. De gevoeligheid van de parabool te Dwingeloo reikt tot ongeveer één fluxeenheid. Met de radiotelescoop te Westerbork denkt men reeds enkele millifluxeenheden te kunnen waarnemen.

Prof. Van de Hulst besloot zijn dankwoord met het bekend maken van enkele zeer recente resultaten, te Westerbork bereikt.

Ledenmutaties

Nieuwe adressen van leden

Ir. J. A. Aarsen, Stanleylaan 3, Gouda.
Ir. J. Th. van Lottum, Jutland 1, Mierlo.
J. L. Ooms, Spoorstraat 7, Baarn.
Ir. D. C. J. Poortvliet, Van Polanenpark 163, Wassenaar.
Ir. W. D. P. Stenfert, Generaal Foulkesweg 235, Wageningen.

Overleden

Ir. B. J. van Hardenberg, Irisstraat 32, Bussum.